

**Universidad Autónoma de Baja California**  
Facultad de Ciencias Marinas  
Campus Ensenada



Migraciones estacionales del tiburón blanco juvenil  
(*Carcharodon carcharias*) en las costas de las Californias.

**T E S I S**

Que para obtener el grado de:

**OCEANÓLOGO**

Presenta:

**ALEJANDRO CASTILLO HEREDIA**

**Ensenada, B. C., México, Febrero de 2024**

## RESUMEN

Los tiburones blancos (*Carcharodon carcharias*) son un depredador tope de los ecosistemas marinos en las costas de las Californias (California y la Península de Baja California). Debido a su posición trófica son una especie clave en los ecosistemas que habitan; sin embargo, el conocimiento sobre los patrones de uso de hábitat de los tiburones blancos juveniles es limitado. Dos áreas de crianza han sido identificadas en las costas de las Californias- en la ensenada del sur de California (SCB) y en la Bahía Sebastián Vizcaíno (BSV) en la Península de Baja California. Un alto índice de capturas incidentales de tiburones blancos juveniles (TBJ) por pesquerías locales ha sido reportado a lo largo de la costa de estas dos regiones. En este trabajo se utilizaron datos de telemetría satelital de 26 TBJ para caracterizar los patrones espacio-temporales y movimientos entre las dos áreas de crianza. Los resultados obtenidos nos indican que los movimientos de los TBJ son a lo largo de la zona costera, a través de la línea fronteriza entre Estados Unidos y México. TBJ pueden ser encontrados a lo largo de las costas de las Californias durante la mayoría de los meses del año; sin embargo, los TBJ se distribuyen al sur de BSV durante los meses de primavera, mientras que durante verano tardío se encuentran al norte de su rango de distribución. Adicionalmente, se caracterizaron los patrones de persistencia de movimiento, lo cual sugiere un grado alto de residencia en ambos sitios de crianza, mientras que los movimientos entre estas son rápidos y dirigidos. Conocer estos patrones es necesario para llevar a cabo un buen manejo y conservación de esta especie protegida y las áreas que habita.

**Palabras Clave:** Migración, Tiburón Blanco, Áreas de Crianza



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA  
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS  
CAMPUS ENSENADA



**"Migraciones estacionales del tiburón blanco juvenil (*Carcharodon carcharias*) en las costas de las Californias."**

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
OCEANÓLOGO  
**PRESENTA:**

**Alejandro Castillo Heredia**  
**357539**

A quien el Comité de Tesis autoriza el trabajo terminal, después de haber efectuado una revisión minuciosa del mismo y de acuerdo con el Art. 19 del R.G.E.P.E.P, las y los señores profesores emiten los siguientes votos aprobatorios mediante rubrica:

**Dr. Rodrigo Beas Luna**  
**DIRECTOR**

**Dr. Omar Santana Morales**  
**CO-DIRECTOR**

**Dr. Alfonso Medellín Ortiz**  
**SINODAL**

**M.C. Rebeca Zertuche Chanes**  
**SINODAL**

**"Por la Realización Plena del Ser"**

C.c.p.- Archivo  
C.c.p.- Minutario

## Agradecimientos

A mis papás, los más importantes, **Ramiro y María del Carmen**, por su incondicional apoyo y cariño. Gracias por confiar en mí siempre. Ustedes son la base de lo que soy y de lo que quiero ser. Los amo.

A mi hermana **Anel Alexsa**, por ser mi fan #1.

A mis amigos Ensenadenses, por las risas y cervezas, o las lágrimas y tareas. Mención honorífica a **Yessica, David y Natalye** por darle algo de claridad a mi vida.

A **Poncho y Rebe**, por sus comentarios y sugerencias. A **Omar** por guiarme en la vida del tiburoneo. Y al **Ro** por confiar en mí, seguirme el rollo con todas las ideas que propuse, y por enseñarme todos los life-hacks académicos.

A toda la **MexCal**-iza, por el aprendizaje, los viajes, la comida y el buceo.

A la **Moni**, porque sin ella todavía no encontraría tema de tesis.

A los profesores, buenos y malos (fueron pocos) porque de todos aprendí algo, al personal administrativo, de intendencia y a toda la comunidad de Marinas por mantener viva a esta escuela tan bonita.

Al Fondo Mexicano Para la Conservación de la Naturaleza por su apoyo en el monitoreo del archipiélago de Las Islas Coronado.

A **John O'Sullivan** y a todos los involucrados en el Juvenile White Shark Biologging Database, por compartir estos datos y dar la oportunidad a estudiantes como yo de llevar a cabo un proyecto de investigación.

# Índice

Índice de figuras .....	v
Índice de tablas .....	v
1. Introducción .....	1
2. Objetivos.....	4
2.2 Objetivos Particulares .....	4
3. Metodología.....	4
3.1. Área de estudio .....	4
3.2 Datos de telemetría .....	5
3.3 Procesamiento de datos.....	6
4. RESULTADOS .....	8
4.1. Telemetría satelital .....	8
4.2. Distribución mensual .....	12
4.3 Persistencia de movimiento.....	15
5. Discusión .....	17
5.1. Distribución mensual .....	17
5.2 Persistencia de Movimiento.....	18
6. Conclusiones .....	20

## Índice de figuras

**Figura 1. Mapa de posiciones SPOT (Argos) y PAT (GLS).** Ubicaciones promedio diarias utilizadas en el análisis de comportamiento. Puntos con opacidad reducida para destacar zonas con mayor cantidad de datos.....11

**Figura 2. Distribución latitudinal de 26 tiburones con marcas satelitales en el Océano Pacífico.** Las cajas representan el rango intercuartílico, barras horizontales negras indican la media. El ancho de las cajas indica el tamaño de la muestra para cada mes; el número de tiburones presentes para cada mes se indican en la parte superior de su correspondiente caja.....13

**Figura 3. Densidad de distribución estacional.** A) Invierno (noviembre - febrero); B) Primavera (marzo - mayo); C) Principio de verano (junio - julio); D) finales de verano - otoño (agosto - octubre).....14

**Figura 4. Posiciones ARGOS ajustadas con modelo state-space.** Cada posición presenta el color correspondiente al índice de persistencia de movimiento ( $\gamma_t$ ). Elipses azules representan intervalos de confianza 95%. .....16

## Índice de tablas

Tabla 1.1. Datos de marcaje.....9-10

## 1. Introducción

La protección de los depredadores tope es una parte fundamental en el mantenimiento de un ecosistema marino saludable. Estas especies influyen de manera directa e indirecta en procesos ecológicos, como la dinámica de nutrientes y distintas interacciones tróficas (Schmitz et al., 2010; Williams et al., 2018). Debido a su importancia en el mantenimiento de la biodiversidad y del funcionamiento general del ecosistema (Stier et al., 2016), la pérdida o disminución de los depredadores tope puede provocar un efecto de cascada trófica (Myers et al., 2007). Los impactos de este fenómeno pueden abarcar grandes escalas espacio-temporales y no ser evidentes hasta la pérdida total del control de los depredadores tope, cuando la capacidad de recuperación se ha perdido (Estes et al., 2011). La protección de los depredadores tope es un reto debido a que se requiere determinar las zonas de agregación (i.e. alimentación, reproducción, anidamiento). Además, es necesario identificar a los impulsores ambientales responsables de su comportamiento y movimientos para lograr el entendimiento del uso de hábitat en las zonas de agregación (Barnett et al., 2011; Wells et al., 2018). Por lo tanto, es necesario entender los patrones espacio-temporales de los depredadores para el desarrollo de estrategias de manejo y conservación basadas en el conocimiento ecosistémico.

Los grandes depredadores son especies altamente móviles, lo cual implica extensas migraciones y complejos patrones de movimiento a través de distintas variables ambientales, estacionales y límites geopolíticos,

haciendo complejo su estudio y manejo (Bull et al., 2013; Chin et al., 2017). El desarrollo de marcas electrónicas ha permitido el monitoreo remoto de distintas especies migratorias; generando información detallada sobre el comportamiento y los movimientos de estas especies con rangos temporales que van desde semanas hasta años, a lo largo de las cuencas oceánicas (Costa et al., 2012; Wells et al., 2018). Esta información, en conjunto con datos de variables ambientales y ecológicas, pueden brindar un panorama más amplio acerca de las condiciones que modulan el comportamiento de las especies (Vandeperre et al., 2016; Wells et al., 2018; White et al., 2019). No obstante, debido a los altos costos y una logística compleja, el conocimiento del uso del hábitat de ciertas especies en su etapa adulta es desproporcionadamente mayor (Vandeperre et al., 2014; Wells et al., 2018); Una de estas especies es el tiburón blanco, para la cual el uso de hábitat es aún incierta para distintas subpoblaciones y diferentes etapas de vida (Huveneers et al., 2018).

El tiburón blanco (*Carcharodon carcharias*, TB) es uno de los principales depredadores tope de los ecosistemas marinos. En el Pacífico Nororiental se han detectado dos principales sitios de crianza para el TB: La ensenada del sur de California (Dewar et al., 2004; SCB) y la Bahía Sebastián Vizcaíno (BSV) en Baja California (Oñate-González et al., 2017). Durante su etapa como juveniles (< 3 m Longitud total, LT) y subadultos (>3–3.6 m LT machos y >3-4.8 m LT hembras) (Bruce & Bradford, 2012) ocurren cambios ontogénicos en su morfología, dieta y hábitat (Domeier, 2012); sin embargo, los patrones estacionales y los impulsores ecológicos que determinan la



distribución del TB aún no son definidos completamente (Huveneers et al., 2018). Sumar a estos conocimientos es de suma importancia para lograr evaluar la vulnerabilidad de la especie a distintas actividades humanas. Debido a la vulnerabilidad de las poblaciones de TB, se ha llevado a cabo un esfuerzo internacional para su conservación; sin embargo, a pesar de las medidas de protección implementadas, siguen existiendo capturas incidentales de tiburón blanco, principalmente juveniles, en las pesquerías de redes agalleras en las costas de California y Baja California (Lyons et al., 2013; Santana-Morales et al., 2012). Ya que la conservación del TB depende de la implementación de estrategias que propicien la supervivencia y reclutamiento de tiburones juveniles (Oñate-González et al., 2017), es necesario aumentar el conocimiento sobre la distribución y los movimientos de esta especie en sus primeras etapas de vida.

El objetivo de este trabajo es caracterizar los patrones espacio-temporales del tiburón blanco juvenil en las Californias, para conocer el uso de hábitat de la especie en sus distintas zonas de agregación. Particularmente, estamos interesados en: 1) Determinar si existen patrones temporales de la distribución de TBJ en las Californias; 2) Encontrar patrones de movimiento y uso de espacio de TBJ; y 3) Identificar áreas de residencia de TBJ en las costas de las Californias. Los resultados de este trabajo aumentan nuestro entendimiento sobre los patrones espaciales y estacionales para informar estrategias de manejo y conservación.

## **2. Objetivos**

### 2.1 Objetivo general

Determinar los patrones de uso del hábitat del tiburón blanco juvenil en las costas de las Californias.

### 2.2 Objetivos Particulares

- Determinar los patrones de distribución temporal de los tiburones blancos juveniles en las costas de las Californias.
- Determinar patrones de movimiento de los tiburones blancos juveniles en las costas de las Californias
- Identificar áreas de residencia en las costas de las Californias

## **3. Metodología**

### 3.1. Área de estudio

La costa de las Californias se encuentra ubicada en el margen este del Pacífico Norte, desde los 22°N hasta los 42°N. Esta región abarca las aguas de Estados Unidos y de México, en los estados de California, Baja California y Baja California Sur. Esta región alberga una variedad de ecosistemas submareales, como arrecifes rocosos, pastos marinos, bosques de macroalgas, cañones y montes submarinos (Halpern et al., 2009). La oceanografía de esta zona está caracterizada por la Corriente de California con flujo hacia el sur, una contracorriente profunda con dirección norte, surgencias forzadas por el viento en primavera y la Corriente de Davidson con

dirección norte en el invierno (McClatchie, 2014). Esto genera áreas con alta productividad primaria que propician el desarrollo de poblaciones de peces, mamíferos marinos y aves (Bernal, 1979).

La Ensenada del sur de California y la Bahía Sebastián Vizcaíno son dos áreas dentro del ecosistema de la Corriente de California. BSV se localiza en la zona central de la costa oeste de la península de Baja California. Está limitada por el litoral de Punta María a Punta Eugenia y por las islas de Cedros y Natividad (Palacios-Hernández et al., 1993). Tiene una forma semicircular de aproximadamente 11,500 km<sup>2</sup> y su parte central cuenta con 75 m de profundidad (Navarro-Palacios y Mancilla-Peraza, 2008). SCB es una bahía abierta definida en su borde este por la línea de costa con una longitud de 692 km, que va desde Punta Concepción, California, hasta Punta Colonet, Baja California, y por el oeste por la Corriente de California. Ambos sitios son similares debido a sus características oceanográficas. Estas regiones tienen una alta productividad biológica que mantiene a una diversa comunidad de especies, desde una constante presencia de organismos fitoplanctónicos y zooplancton que funcionan como base para el resto de la trama trófica (Bernal, 1979; Hernández-Rivas et al., 2000).

### 3.2 Datos de telemetría

Se obtuvieron datos de telemetría satelital a partir de la base de datos elaborada por la U.S. Animal Telemetry Network (O'Sullivan et al., 2022). Esta base contiene datos provenientes de marcas electrónicas satelitales

desplegadas en tiburones blancos juveniles. Se utilizaron dos tipos de plataformas de biotelemedría:

1) *Smart position and temperature transmitting (SPOT)*.

Marcas modelo SPOT5 de Wildlife Computers (Redmond, WA) reportan posiciones cuando la marca montada en la aleta dorsal rompe la superficie y se logra una transmisión con el sistema de satélites ARGOS.

2) *Pop-up archival transmitting (PAT)*.

Marcas PAT modelos MK10, MiniPAT, PAT2 y PAT4 de Wildlife Computers. Las posiciones derivadas de estas marcas fueron posteriormente procesadas por el algoritmo GPE3 directamente desde el portal de Wildlife Computers.

### 3.3 Procesamiento de datos

Las localizaciones estimadas de ARGOS presentan distintos niveles de calidad dependiendo de factores como el número de enlaces de la marca con los satélites. Para reducir este error se utilizó un modelo de estado de espacio de caminata aleatoria correlacionada incluida en el paquete de R *AniMotum* (R Core Team, 2022; Jonsen et al., 2023; Posit team, 2023), en conjunto de un filtro de velocidad de 5 m/s para corregir y suavizar las trayectorias de cada tiburón. Las posiciones con valores atípicos (i.e. posiciones en tierra) fueron filtradas manualmente. Las trayectorias derivadas de las marcas PAT fueron utilizadas directamente del archivo GPE3 de la base de datos sin un procesamiento adicional. Adicionalmente, se incluyeron las

posiciones de liberación para cada tiburón. Los datos de posicionamiento son temporalmente irregulares, por lo que se estandarizaron a valores promedio diarios, esto con el objetivo de evitar un sesgo hacia individuos con múltiples transmisiones en un mismo día. El conjunto de geoposiciones fueron utilizados para realizar una estimación de densidad de Kernel con un radio de 1.0° y un tamaño de pixel de 0.1, utilizando el software QGIS.

Las trayectorias de ARGOS también fueron adaptadas con el modelo de *Move Persistence* incluido en el paquete AniMotum. Este modelo permite inferir cambios en los patrones de comportamiento. La persistencia de movimiento capta la autocorrelación entre la velocidad y dirección en cada par de reubicaciones. La variación de estos movimientos a lo largo de una trayectoria puede ser utilizada para identificar segmentos de alta o baja persistencia de movimiento (Jonsen et al., 2019).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Telemetría satelital

Se obtuvieron 1,471 ubicaciones reportadas (Figura 1) a partir de 26 tiburones juveniles machos ( $n = 13$ ) y hembras ( $n = 12$ ) etiquetados con marcas satelitales entre los años 2003 y 2019 (Tabla I). Diez de los tiburones marcados fueron capturados incidentalmente por las pesquerías de curvina blanca (*Atractoscion nobilis*) y tiburón zorro (*Alopias vulpinus*) en las costas del sur california; el resto fue capturado con motivos de investigación (redes agalleras:  $n = 7$ , línea y anzuelo:  $n = 2$ , red de cerco  $n = 5$ ). Las tallas de longitud total variaron entre 134 y 256 cm (media  $\pm$  desviación estándar;  $175.5 \pm 33.01$  cm). La duración de los rastreos tuvo un intervalo de 7 a 614 días ( $154.4 \pm 144.9$  días)

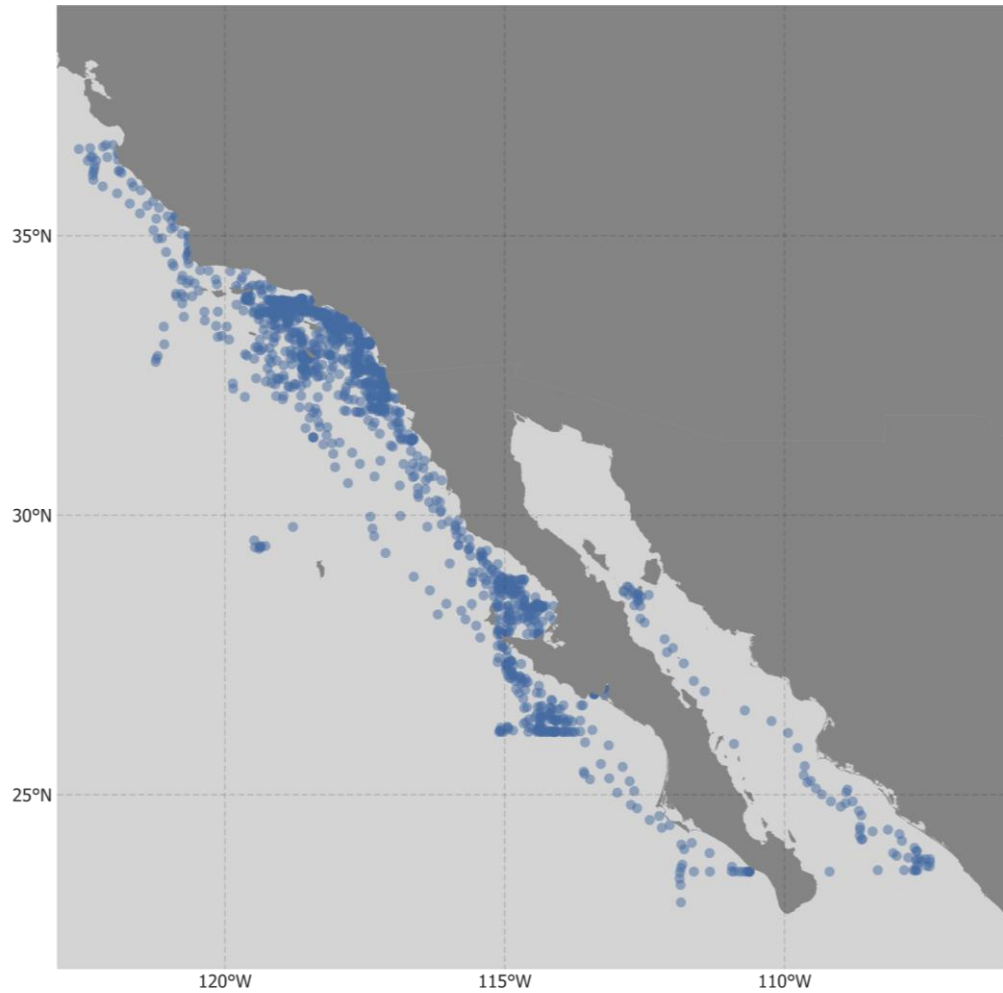
**Tabla 1.1. Datos de marcaje**

<b>ID</b>	<b>Fecha de inicio</b>	<b>Días desplegados</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>LT (cm)</b>	<b>Sexo</b>	<b>Interacción</b>	<b>Arte de pesca</b>
03_03	10/20/2003	37	34.13	-119.23	155	M	investigación	red agallera
06_13	9/27/2006	22	34.247	-119.288	148	H	investigación	red agallera
06_14	10/29/2006	30	34.24	-119.279	154	M	pesca comercial	red agallera
07_03	7/18/2007	184	34.02	-118.65	170	M	pesca comercial	red agallera
07_05	5/2/2008	145	36.632	-121.875	145	M	pesca comercial	red agallera
08_01	6/18/2008	233	33.705	-118.238	160	H	pesca comercial	red agallera, fija
08_02	6/20/2008	614	34.394	-119.67	135	M	pesca comercial	red agallera, deriva
08_09	1/8/2008	544	34.386	-119.663	154	M	pesca comercial	red agallera, deriva
08_17	10/16/2008	97	33.178	-117.425	161	H	pesca comercial	red agallera, fija
09_09	7/16/2009	132	34.235	-119.288	168	M	pesca comercial	red agallera, deriva
09_09B	8/19/2010	199	34.013	-118.592	205	M	investigación	red de cerco
09_11B	4/11/2009	118	36.65	-121.95	165	H	investigación	red de cerco
09_14	9/23/2009	81	34.03	-118.56	224	H	investigación	línea y anzuelo

**Tabla 1.2. Datos de marcaje**

<b>ID</b>	<b>Fecha de inicio</b>	<b>Días desplegados</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>LT (cm)</b>	<b>Sexo</b>	<b>Interacción</b>	<b>Arte de pesca</b>
09_15	9/26/2009	170	33.363	-117.567	224	M	investigación	línea y anzuelo
10_16	8/17/2010	160	34.029	-118.544	200	H	investigación	red de cerco
10_17	8/18/2010	170	34.016	-118.52	166	H	investigación	red de cerco
11_05	1/8/2011	170	34.146	-119.23	157	H	pesca comercial	red agallera
14_07	6/11/2014	270	33.88	-118.416	198	M	investigación	red de cerco
15_1MX	6/26/2015	29	28.214	-114.212	161	M	investigación	red agallera, fija
15_2MX	12/7/2015	26	28.013	-114.25	182	H	investigación	red agallera, fija
16_1MX	7/15/2016	9	27.867	-114.408	166	H	investigación	red agallera, fija
16_2MX	7/15/2016	89	27.867	-114.408	193	H	investigación	red agallera, fija
16_3MX	7/15/2016	7	27.927	-114.352	138	M	investigación	red agallera, fija
18_02	4/2/2018	174	34.414	-119.567	243	U	investigación	NC
19_19	10/14/2019	180	34.406	-119.551	256	H	investigación	NC
08_13	8/23/2008	122	34.147	-119.24	134	M	pesca comercial	red agallera

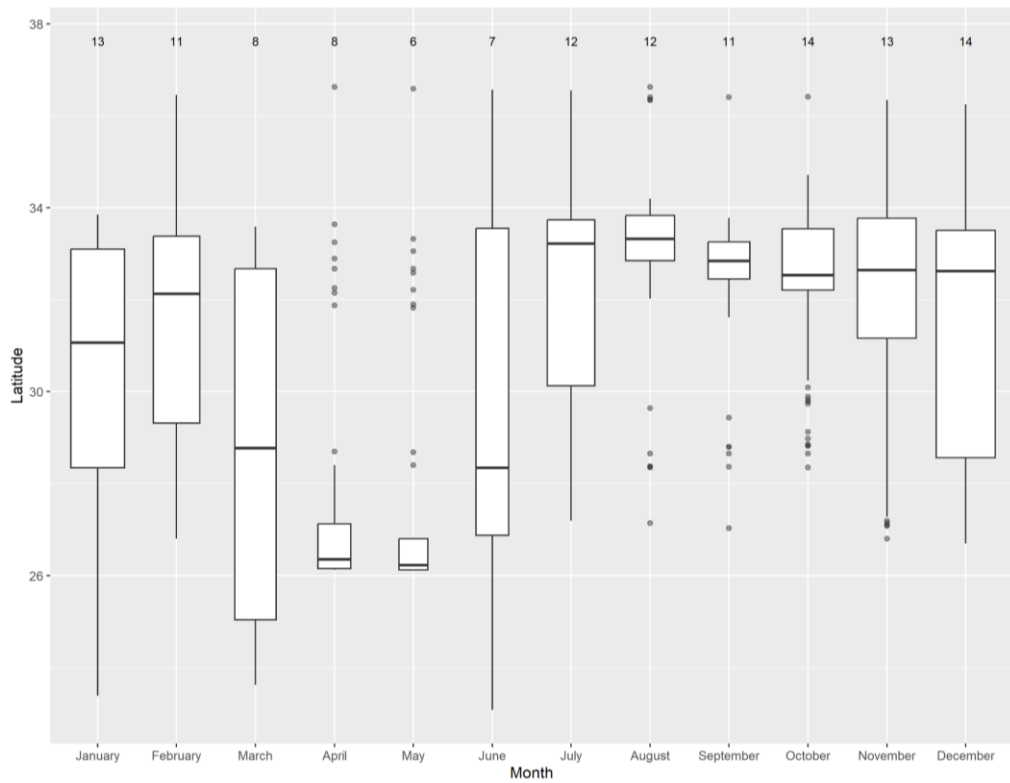




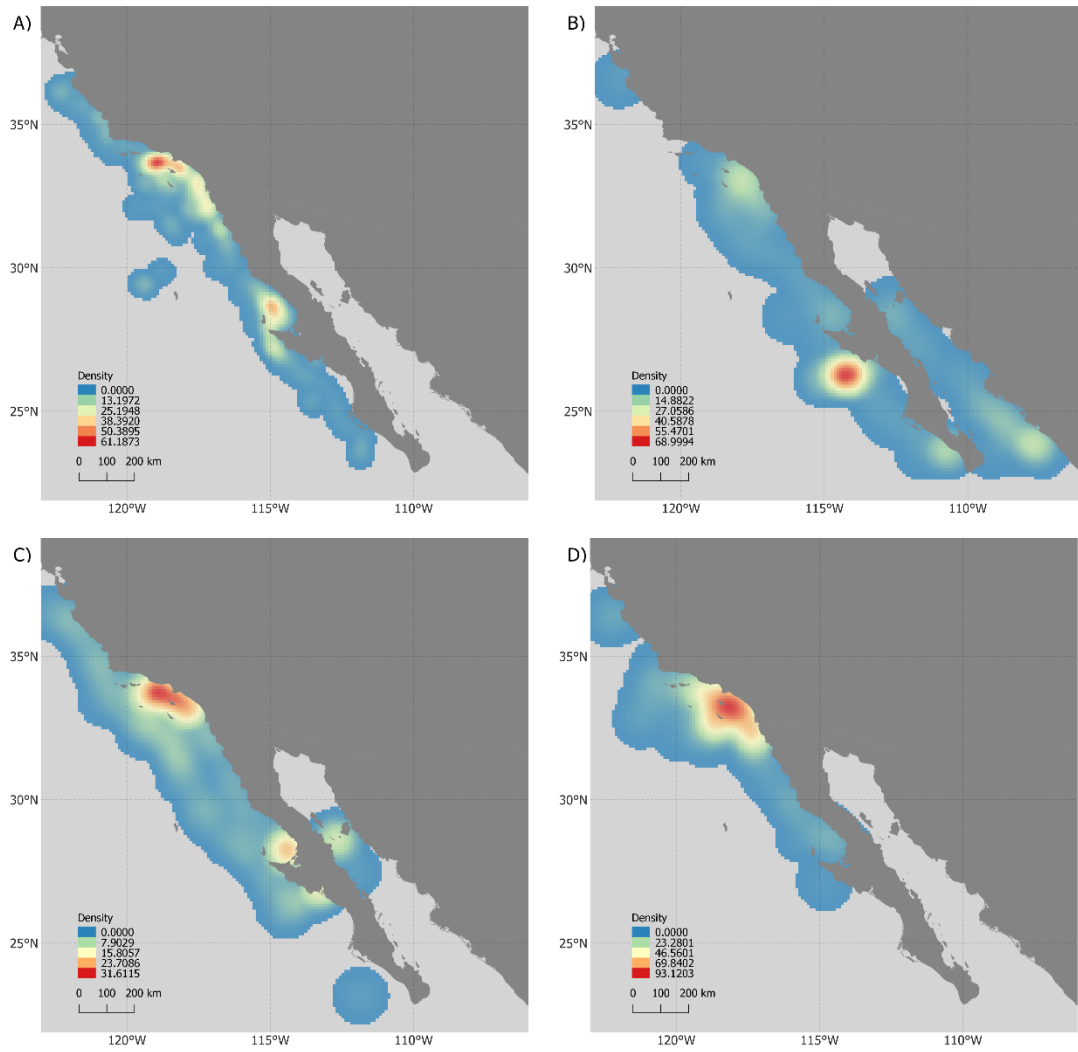
**Figura 1. Mapa de posiciones SPOT (Argos) y PAT (GLS).** Ubicaciones promedio diarias utilizadas en el análisis de comportamiento. Puntos con opacidad reducida para destacar zonas con mayor cantidad de datos.

#### 4.2. Distribución mensual

Los TBJ mostraron una amplia distribución latitudinal durante los meses de invierno, con una mayor presencia entre los 28° y 33° de latitud (Figura 2). En el mes de marzo se registró un desplazamiento hacia el sur de su distribución, donde permanecen durante los meses de abril y mayo; mientras que, en el mes de julio, se observó el rango de distribución más amplio del año, donde se presenta un desplazamiento hacia el norte. En el periodo de agosto a octubre la ocurrencia de los tiburones blancos se limitó a la zona norte, entre las latitudes 32° y 35°. A partir de este análisis se identificaron cuatro etapas de distribución: 1) Migración de invierno (noviembre - febrero); 2) Distribución sur durante primavera (marzo -mayo); 3) Migración de verano (junio - julio) y 4) Distribución norte durante verano tardío y otoño (agosto – octubre) (Figura 3).



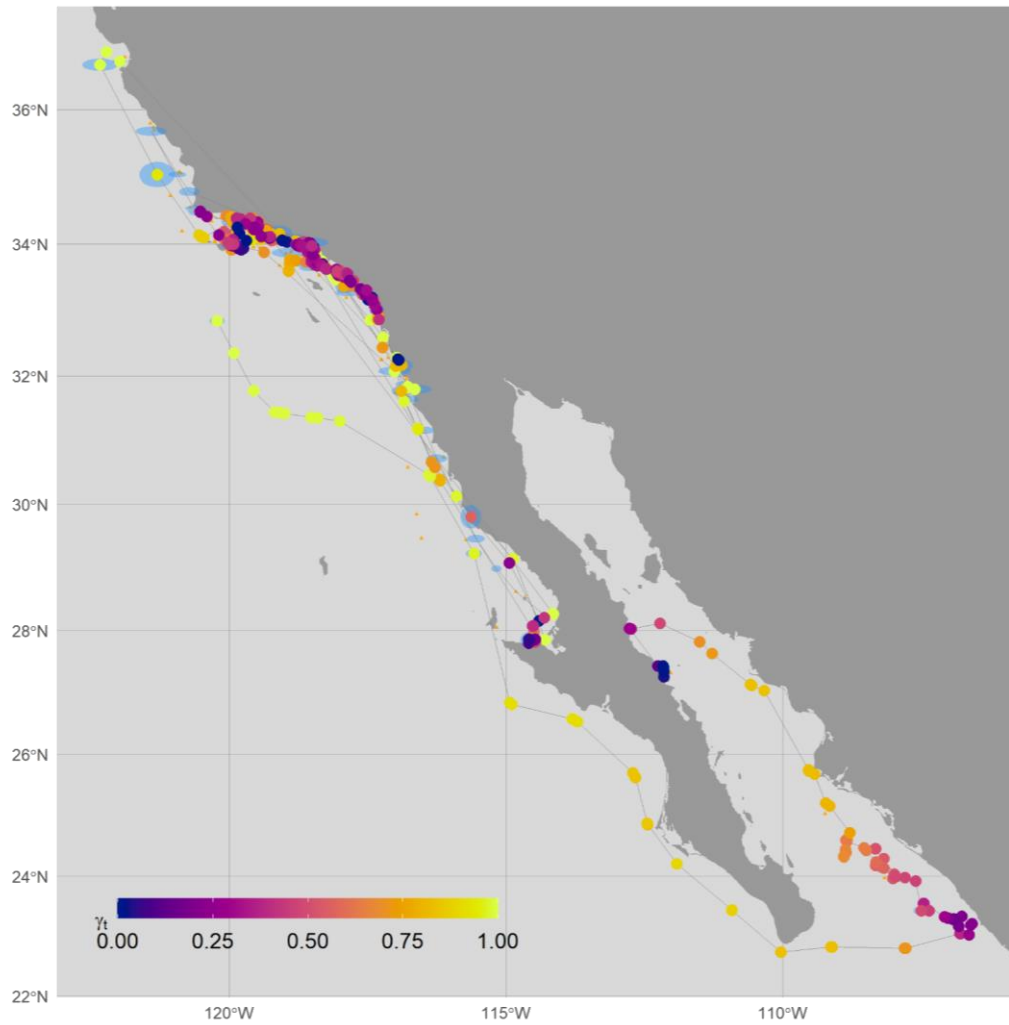
**Figura 2. Distribución latitudinal de 26 tiburones con marcas satelitales en el Océano Pacífico.** Las cajas representan el rango intercuartílico, barras horizontales negras indican la media. El ancho de las cajas indica el tamaño de la muestra para cada mes; el número de tiburones presentes para cada mes se indican en la parte superior de su correspondiente caja.



**Figura 3. Densidad de distribución estacional.** A) Invierno (noviembre - febrero); B) Primavera (marzo - mayo); C) Principio de verano (junio - julio); D) finales de verano - otoño (agosto - octubre).

#### 4.3 Persistencia de movimiento

De dieciséis TBJ con marcas SPOT, ocho contaron con la cantidad y calidad de datos para ajustarse al modelo de persistencia de movimiento. Los TBJ marcados mostraron patrones de movimiento similares; los valores de menor persistencia de movimiento se concentraron en tres áreas: El sur de California (SCB), la Bahía Sebastián Vizcaíno (BSV) y el interior del Golfo de California, donde se muestran movimientos erráticos y confinados dentro de una región específica (Figura 4). En contraste, los valores de movimiento mas altos fueron registrados en la zona de transición entre estos sitios, principalmente en la porción costera de Baja California entre SCB y BSV donde el movimiento es constante y dirigido. Cabe destacar que los tiburones liberados en la Bahía de Monterey, California (9\_11B y 07\_05) mostraron rápidos desplazamientos hacia regiones más sureñas.



**Figura 4. Posiciones ARGOS ajustadas con modelo state-space.** Cada posición presenta el color correspondiente al índice de persistencia de movimiento ( $\gamma_t$ ). Elipses azules representan intervalos de confianza 95%.

## 5. Discusión

### 5.1. Distribución mensual

Los movimientos observados en este estudio confirman el uso de dos áreas de crianza en la costa de las Californias por los TBJ. Tanto la SCB y BSV han sido identificadas como sitios de crianza de la especie a partir de datos de capturas incidentales por las flotas pesqueras locales (García-Rodríguez & Sosa-Nishizaki, 2020; Lyons et al., 2013; Oñate-González et al., 2017; Santana-Morales et al., 2020). Al igual que otras poblaciones de TBJ (Bruce & Bradford, 2012; Franks et al., 2021), en este estudio, los TBJ del Pacífico noreste llevan a cabo migraciones estacionales predecibles entre diferentes sitios de agregación. Sin embargo, los estudios sobre los patrones estacionales de los movimientos de TBJ en el Pacífico noreste previos a este trabajo son limitados. En SCB, la distribución estacional observada durante los meses finales de verano y principios de otoño coinciden con observaciones de telemetría satelital anteriores en esta región (Anderson et al., 2021; Lyons et al., 2013). En BSV la mayor tasa de captura incidental es reportada durante los meses de verano (García-Rodríguez & Sosa-Nishizaki, 2020; Santana-Morales et al., 2012) y otoño (Weng et al., 2007), a diferencia de la principal agregación hacia la región sur de su distribución durante la primavera. Sin embargo, se ha reportado que BSV presenta condiciones óptimas para el TBJ la mayoría de los meses del año (White et al., 2019), además de presentar capturas de tiburones de un año de nacidos durante todas las temporadas, con la mayor captura en el mes de mayo (Oñate-González et al., 2017).

Los principales factores impulsores de los movimientos migratorios de los TBJ aún no son entendidos completamente. Se ha reportado que las variables oceanográficas son pobres indicadores sobre la abundancia de TBJ en áreas de crianza del este de Australia (Lee et al., 2021; Spaet et al., 2020). En cambio, observaciones previas en SCB indican que la temperatura tiene un efecto significativo en la presencia de TBJ (Weng et al., 2007; White et al., 2019) y que variaciones de temperatura pueden provocar migraciones entre sitios de agregación (Spurgeon et al., 2022). A pesar de que pueden incursionar verticalmente hacia aguas con temperaturas de hasta 8 °C (Dewar et al., 2004; Weng et al., 2007), debido a su baja masa corporal y alta superficie corporal, los TBJ poseen una menor eficiencia de termorregulación en comparación a sus conspecíficos adultos y subadultos (Anderson et al., 2022). Debido a esto, los TBJ muestran una afinidad a hábitats con temperaturas mayores a 14 °C (White et al., 2019). Durante la primavera ocurren surgencias favorecidas por el viento en SCB, las cuales pueden reducir la temperatura superficial del mar hasta por 4 °C (Gentemann et al., 2017; Lynn et al., 2003). Esto se ve reflejado en la baja tasa de capturas incidentales dentro de SCB durante el periodo de enero - abril (Lowe et al., 2012; Lyons et al., 2013) y la baja abundancia encontrada en este estudio.

## 5.2 Persistencia de Movimiento

Mediante el modelo de persistencia de movimiento, se identificaron patrones de migración y residencia similares entre los TBJ. Los bajos niveles de persistencia de movimiento observados en SCB y BSV son indicativos de



residencia en estas áreas. La residencia es un criterio utilizado para la identificación de sitios de crianza para tiburones (Heupel et al., 2007) y ha sido previamente reportados independientemente en ambos sitios (Anderson et al., 2021; Oñate-González et al., 2017; Weng et al., 2007). Sin embargo, no hay una descripción acerca de los patrones de residencia durante los movimientos migratorios de los TBJ entre ambos sitios de crianza previo a este estudio. En cambio, se han observado valores de alta persistencia de movimientos a lo largo de la costa de Baja California. Estos valores indican que los movimientos de los TBJ entre ambos sitios de crianza son dirigidos y relativamente rápidos. Esto confirma el uso de esta porción de costa como un corredor marino para los TBJ durante sus movimientos migratorios (Oñate-González et al., 2017).

Adicionalmente, se observó la migración de un ejemplar hacia el Golfo de California (GC) durante la primavera y el verano. Se registró una alta actividad frente a las costas de Sinaloa, donde la persistencia de movimiento fue baja. Posteriormente realizó un movimiento dirigido hacia la región de Santa Rosalía, Baja California Sur, donde el índice de movimiento es bajo. Existen pocos registros sobre la presencia de tiburones blancos al sur del GC (Becerril-García et al., 2019; Márquez Farias & Lara Mendoza, 2017). Sin embargo, existen varios reportes de TB adultos y juveniles dentro del GC, con varios juveniles reportados en la zona de Santa Rosalía (Galván-Magaña et al., 2010). El motivo de la presencia de TBJ en Baja California Sur y dentro del Golfo de California es aún incierto.

## **6. Conclusiones**

Las costas de las Californias son una región clave para la crianza y desarrollo de los tiburones blancos juveniles del Pacífico Noreste. En este trabajo fue posible identificar patrones estacionales en la distribución latitudinal de los TBJ en las Californias. Se observó una amplia distribución durante las temporadas de invierno y verano. Durante los meses de primavera los TBJ mostraron movimientos hacia el sur de BSV; contrario a la temporada de otoño, donde los tiburones se desplazaron la región norte de su distribución. Con este trabajo se logró identificar un alto índice de residencia en las áreas de crianza previamente identificadas; realizando movimientos migratorios dirigidos entre ambos sitios. Esto confirma el uso de la costa de California y Baja California como un corredor marino en las migraciones de los TBJ. Adicionalmente se observó un alto nivel de actividad de residencia dentro del Golfo de California, frente a las costas de Sinaloa y en la región de Santa Rosalía, Baja California Sur. Esto es indicativo del uso de esta región como una zona de crianza secundaria. Comprender los patrones del uso del hábitat del TBJ es necesario para llevar a cabo un manejo y un plan de conservación adecuado para esta especie protegida.

## 7. Literatura Citada

- Anderson, J. M., Burns, E. S., Meese, E. N., Farrugia, T. J., Stirling, B. S., White, C. F., Logan, R. K., O'Sullivan, J., Winkler, C., & Lowe, C. G. (2021). Interannual Nearshore Habitat Use of Young of the Year White Sharks Off Southern California. *Frontiers in Marine Science*, 8, 645142. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.645142>
- Anderson, J. M., Spurgeon, E., Stirling, B. S., May, J., Rex, Patrick. T., Hyla, B., McCullough, S., Thompson, M., & Lowe, C. G. (2022). High resolution acoustic telemetry reveals swim speeds and inferred field metabolic rates in juvenile white sharks (*Carcharodon carcharias*). *PLOS ONE*, 17(6), e0268914. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0268914>
- Barnett, A., Abrantes, K. G., Stevens, J. D., & Semmens, J. M. (2011). Site fidelity and sex-specific migration in a mobile apex predator: Implications for conservation and ecosystem dynamics. *Animal Behaviour*, 81(5), 1039–1048. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.02.011>
- Becerril Garcia, E., Becerril Garcia, E., Hoyos Padilla, E., Petatan, D., & Galvan Magana, F. (2019). Southernmost record of the white shark *Carcharodon carcharias* (Chondrichthyes: Lamnidae) in the Mexican Pacific. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 47(1), 190–193. <https://doi.org/10.3856/vol47-issue1-fulltext-22>
- Bernal, P. A. (1979). LARGE-SCALE BIOLOGICAL EVENTS IN THE CALIFORNIA CURRENT. *CalCOFI Report*, XX, 89–101.
- Bruce, B. D., & Bradford, R. (2012). Habitat Use and Spatial Dynamics of Juvenile White Sharks, *Carcharodon carcharias*, in Eastern Australia. En M. Domeier (Ed.), *Global perspectives on the biology and life history of the white shark* (pp. 225–253). CRC Press.

- Bull, J. W., Suttle, K. B., Singh, N. J., & Milner-Gulland, E. (2013). Conservation when nothing stands still: Moving targets and biodiversity offsets. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(4), 203–210.  
<https://doi.org/10.1890/120020>
- Chin, A., Simpfendorfer, C. A., White, W. T., Johnson, G. J., McAuley, R. B., & Heupel, M. R. (2017). Crossing lines: A multidisciplinary framework for assessing connectivity of hammerhead sharks across jurisdictional boundaries. *Scientific Reports*, 7(1), 46061.  
<https://doi.org/10.1038/srep46061>
- Costa, D. P., Breed, G. A., & Robinson, P. W. (2012). New Insights into Pelagic Migrations: Implications for Ecology and Conservation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 43(1), 73–96.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102710-145045>
- Dewar, H., Domeier, M., & Nasby-Lucas, N. (2004). Insights into Young of the Year White Shark, *Carcharodon carcharias*, Behavior in the Southern California Bight. *Environmental Biology of Fishes*, 70(2), 133–143.  
<https://doi.org/10.1023/B:EBFI.0000029343.54027.6a>
- Domeier, M. L. (Ed.). (2012). Sex-Specific Migration Patterns and Sexual Segregation of Adult White Sharks, *Carcharodon carcharias*, in the Northeastern Pacific. In *Global Perspectives on the Biology and Life History of the White Shark* (0 ed., pp. 158–171). CRC Press.  
<https://doi.org/10.1201/b11532-16>
- Estes, J. A., Terborgh, J., Brashares, J. S., Power, M. E., Berger, J., Bond, W. J., Carpenter, S. R., Essington, T. E., Holt, R. D., Jackson, J. B. C., Marquis, R. J., Oksanen, L., Oksanen, T., Paine, R. T., Pikitch, E. K., Ripple, W. J., Sandin, S. A., Scheffer, M., Schoener, T. W., ... Wardle, D. A. (2011).

Trophic Downgrading of Planet Earth. *Science*, 333(6040), 301–306.

<https://doi.org/10.1126/science.1205106>

Franks, B. R., Tyminski, J. P., Hussey, N. E., Braun, C. D., Newton, A. L., Thorrold, S. R., Fischer, G. C., McBride, B., & Hueter, R. E. (2021). Spatio-Temporal Variability in White Shark (*Carcharodon carcharias*) Movement Ecology During Residency and Migration Phases in the Western North Atlantic. *Frontiers in Marine Science*, 8, 744202.

<https://doi.org/10.3389/fmars.2021.744202>

Galván-Magaña, F., Hoyos-Padilla, E. M., Navarro-Serment, C. J., & Márquez-Farías, F. (2010). Records of white shark, *Carcharodon carcharias*, in the Gulf of California, Mexico. *Marine Biodiversity Records*, 3, e111.

<https://doi.org/10.1017/S1755267210000977>

García-Rodríguez, E., & Sosa-Nishizaki, O. (2020). Artisanal fishing activities and their documented interactions with juvenile white sharks inside a nursery area. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 30(5), 903–914. <https://doi.org/10.1002/aqc.3300>

Gentemann, C. L., Fewings, M. R., & García-Reyes, M. (2017). Satellite sea surface temperatures along the West Coast of the United States during the 2014–2016 northeast Pacific marine heat wave. *Geophysical Research Letters*, 44(1), 312–319. <https://doi.org/10.1002/2016GL071039>

Halpern, B. S., Kappel, C. V., Selkoe, K. A., Micheli, F., Ebert, C. M., Kontgis, C., Crain, C. M., Martone, R. G., Shearer, C., & Teck, S. J. (2009). Mapping cumulative human impacts to California Current marine ecosystems. *Conservation Letters*, 2(3), 138–148. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2009.00058.x>

Hernández-Rivas, M. E., Jiménez-Rosenberg, S. P., & Saldierna-Martínez, R. J.

- (2000). EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LA BAHÍA DE SEBASTIÁN VIZCAÍNO, UNA PRIMERA APROXIMACIÓN. En D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S. E. Lluch-Cota, & G. Ponce-Diaz (Eds.), *BAC - Centros de Actividad Biológica del Pacífico Mexicano*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Heupel, M., Carlson, J., & Simpfendorfer, C. (2007). Shark nursery areas: Concepts, definition, characterization and assumptions. *Marine Ecology Progress Series*, 337, 287–297. <https://doi.org/10.3354/meps337287>
- Huveneers, C., Apps, K., Becerril-García, E. E., Bruce, B., Butcher, P. A., Carlisle, A. B., Chapple, T. K., Christiansen, H. M., Cliff, G., Curtis, T. H., Daly-Engel, T. S., Dewar, H., Dicken, M. L., Domeier, M. L., Duffy, C. A. J., Ford, R., Francis, M. P., French, G. C. A., Galván-Magaña, F., ... Werry, J. M. (2018). Future Research Directions on the “Elusive” White Shark. *Frontiers in Marine Science*, 5, 455. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00455>
- Jonsen, I. D., Grecian, W. J., Phillips, L., Carroll, G., McMahon, C., Harcourt, R. G., Hindell, M. A., & Patterson, T. A. (2023). aniMotum, an R package for animal movement data: Rapid quality control, behavioural estimation and simulation. *Methods in Ecology and Evolution*, 14(3), 806–816. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14060>
- Jonsen, I. D., McMahon, C. R., Patterson, T. A., Auger-Méthé, M., Harcourt, R., Hindell, M. A., & Bestley, S. (2019). Movement responses to environment: Fast inference of variation among southern elephant seals with a mixed effects model. *Ecology*, 100(1), e02566. <https://doi.org/10.1002/ecy.2566>
- Lee, K., Butcher, P., Harcourt, R., Patterson, T., Peddemors, V., Roughan, M., Harasti, D., Smoothey, A., & Bradford, R. (2021). Oceanographic conditions associated with white shark (*Carcharodon carcharias*) habitat use along

eastern Australia. *Marine Ecology Progress Series*, 659, 143–159.

<https://doi.org/10.3354/meps13572>

Lowe, C. G., Blasius, M. E., Jarvis, E. T., Mason, T., Goodmanlowe, G., D., & O'Sullivan, J. B. (2012). Historic Fishery interactions with White Sharks in the Southern California Bight. En *Global perspectives on the biology and life history of the white shark*. CRC Press.

Lynn, R. J., Bograd, S. J., Chereskin, T. K., & Huyer, A. (2003). Seasonal renewal of the California Current: The spring transition off California. *Journal of Geophysical Research*, 108(C8).

Lyons, K., Jarvis, E. T., Jorgensen, S. J., Weng, K., O'Sullivan, J., Winkler, C., & Lowe, C. G. (2013). The degree and result of gillnet fishery interactions with juvenile white sharks in southern California assessed by fishery-independent and -dependent methods. *Fisheries Research*, 147, 370–380.

<https://doi.org/10.1016/j.fishres.2013.07.009>

Marquez Farias, F., & Lara Mendoza, R. (2017). Occurrence of a juvenile white shark (*Carcharodon carcharias*) in the southeastern Gulf of California, Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(5), 1059–1063.

<https://doi.org/10.3856/vol45-issue5-fulltext-21>

McClatchie, S. (2014). *Regional Fisheries Oceanography of the California Current System: The CalCOFI program*. Springer Netherlands.

<https://doi.org/10.1007/978-94-007-7223-6>

Navarro-Palacios, R. A., y Mancilla-Peraza, M. (2008). Sedimentología de la Bahía Sebastián Vizcaíno, Baja California, México. *CICIMAR Océánides*, 23(1-2), pp. 79-82.

Myers, R. A., Baum, J. K., Shepherd, T. D., Powers, S. P., & Peterson, C. H. (2007). Cascading Effects of the Loss of Apex Predatory Sharks from a Coastal

Ocean. *Science*, 315(5820), 1846–1850.

<https://doi.org/10.1126/science.1138657>

- O’Sullivan, J., Lowe, C. G., Sosa-Nishizaki, O., Jorgensen, S. J., Anderson, J. M., Farrugia, T. J., García-Rodríguez, E., Lyons, K., McKinzie, M. K., Oñate-González, E. C., Weng, K., White, C. F., Winkler, C., & Van Houtan, K. S. (2022). A biologging database of juvenile white sharks from the northeast Pacific. *Scientific Data*, 9(1), 142. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01235-3>
- Palacios-Hernández, E., López-Castillo, G., y Mancilla-Peraza, M. (1993). Variabilidad hidrográfica de bahía Vizcaíno, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 19(3), 265-284
- Posit team (2023). RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software, PBC, Boston, MA.
- R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical
- Santana-Morales, O., Cartamil, D., Sosa-Nishizaki, O., Zertuche-Chanes, R., Hernández-Gutiérrez, E., & Graham, J. (2020). Artisanal elasmobranch fisheries of northwestern Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 46(1). <https://doi.org/10.7773/cm.v46i1.3023>
- Santana-Morales, O., Sosa-Nishizaki, Oscar, Escobedo-Olvera, Miguel, A, O’Sullivan, J, & Cartamil, Daniel. (2012). Incidental Catch and Ecological observations of Juvenile White Sharks, *Carcharodon carcharias*, in Western Baja California, Mexico Conservation Implications. En *Global perspectives on the biology and life history of the white shark* (pp. 187–198). CRC Press.
- Schmitz, O. J., Hawlena, D., & Trussell, G. C. (2010). Predator control of ecosystem



nutrient dynamics: Predator control of ecosystem nutrient dynamics. *Ecology Letters*, 13(10), 1199–1209. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01511.x>

Spaet, J., Manica, A., Brand, C., Gallen, C., & Butcher, P. (2020). Environmental conditions are poor predictors of immature white shark *Carcharodon carcharias* occurrences on coastal beaches of eastern Australia. *Marine Ecology Progress Series*, 653, 167–179. <https://doi.org/10.3354/meps13488>

Spurgeon, E., Anderson, J. M., Liu, Y., Barajas, V. L., & Lowe, C. G. (2022). Quantifying thermal cues that initiate mass emigrations in juvenile white sharks. *Scientific Reports*, 12(1), 19874. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24377-1>

Stier, A. C., Samhouri, J. F., Novak, M., Marshall, K. N., Ward, E. J., Holt, R. D., & Levin, P. S. (2016). Ecosystem context and historical contingency in apex predator recoveries. *Science Advances*, 2(5), e1501769. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1501769>

Vandeperre, F., Aires-da-Silva, A., Fontes, J., Santos, M., Serrão Santos, R., & Afonso, P. (2014). Movements of Blue Sharks (*Prionace glauca*) across Their Life History. *PLoS ONE*, 9(8), e103538. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103538>

Vandeperre, F., Aires-da-Silva, A., Lennert-Cody, C., Serrão Santos, R., & Afonso, P. (2016). Essential pelagic habitat of juvenile blue shark ( *Prionace glauca* ) inferred from telemetry data: Essential pelagic habitat of juvenile blue shark ( *Prionace glauca* ). *Limnology and Oceanography*, 61(5), 1605–1625. <https://doi.org/10.1002/lno.10321>

Wells, R. J. D., TinHan, T. C., Dance, M. A., Drymon, J. M., Falterman, B., Ajemian, M. J., Stunz, G. W., Mohan, J. A., Hoffmayer, E. R., Driggers, W. B., &

- McKinney, J. A. (2018). Movement, Behavior, and Habitat Use of a Marine Apex Predator, the Scalloped Hammerhead. *Frontiers in Marine Science*, 5, 321. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00321>
- Weng, K., OSullivan, J., Lowe, C., Winkler, C., Dewar, H., & Block, B. (2007). Movements, behavior and habitat preferences of juvenile white sharks *Carcharodon carcharias* in the eastern Pacific. *Marine Ecology Progress Series*, 338, 211–224. <https://doi.org/10.3354/meps338211>
- White, C. F., Lyons, K., Jorgensen, S. J., O'Sullivan, J., Winkler, C., Weng, K. C., & Lowe, C. G. (2019). Quantifying habitat selection and variability in habitat suitability for juvenile white sharks. *PLOS ONE*, 14(5), e0214642. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214642>
- Williams, J. J., Papastamatiou, Y. P., Caselle, J. E., Bradley, D., & Jacoby, D. M. P. (2018). Mobile marine predators: An understudied source of nutrients to coral reefs in an unfished atoll. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1875), 20172456. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.2456>